

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-184233

(P2017-184233A)

(43) 公開日 平成29年10月5日(2017.10.5)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
HO3H	3/02	(2006.01)	HO3H	3/02	B	5H681		
HO3H	9/17	(2006.01)	HO3H	9/17	B	5J108		
HO2N	2/02	(2006.01)	HO2N	2/02				

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2017-59612 (P2017-59612)	(71) 出願人	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成29年3月24日 (2017.3.24)	(74) 代理人	100094112 弁理士 岡部 譲
(31) 優先権主張番号	特願2016-61295 (P2016-61295)	(74) 代理人	100096943 弁理士 臼井 伸一
(32) 優先日	平成28年3月25日 (2016.3.25)	(74) 代理人	100101498 弁理士 越智 隆夫
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100107401 弁理士 高橋 誠一郎
		(74) 代理人	100106183 弁理士 吉澤 弘司
		(74) 代理人	100128668 弁理士 齋藤 正巳

最終頁に続く

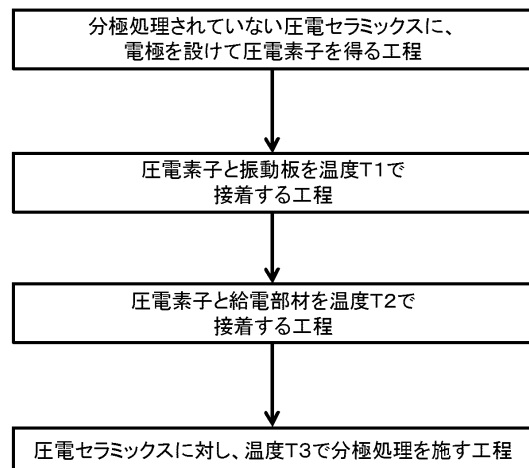
(54) 【発明の名称】 振動子の製造方法、振動波駆動装置の製造方法および光学機器の製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 正進方法と逆進方法との振動特性が実質的に等価である振動子を歩留まり良く製造できる方法を提供する。

【解決手段】 振動子の製造方法であって、分極処理されていない圧電セラミックスに電極を設けて圧電素子を得る工程と、前記圧電素子と振動板を温度 T1 で接着する工程と、前記圧電素子と給電部材を温度 T2 で接着する工程と、前記圧電セラミックスに対し温度 T3 で分極処理を施す工程と、を順に実施する。T1、T2 および T3 が、 $T1 > T3$ 、かつ、 $T2 > T3$ の関係を満たす。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

振動子の製造方法であって、
 分極処理されていない圧電セラミックスに、電極を設けて圧電素子を得る工程と、
 前記圧電素子と振動板を温度 T_1 で接着する工程と、
 前記圧電素子と給電部材を温度 T_2 で接着する工程と、
 前記圧電セラミックスに対し、温度 T_3 で分極処理を施す工程と、
 を順に実施し、
 前記 T_1 、 T_2 および T_3 が、 $T_1 > T_3$ かつ $T_2 > T_3$ の関係を満たすことを特徴とする、振動子の製造方法。

10

【請求項 2】

前記圧電素子と前記振動板の間の第一の接着部のガラス転移温度 T_{g1} と、
 前記圧電素子と前記給電部材の間の第二の接着部のガラス転移温度 T_{g2} と、
 前記 T_3 が、 $T_{g1} > T_3$ かつ $T_{g2} > T_3$ の関係を満たす、請求項 1 に記載の振動子の製造方法。

【請求項 3】

前記 T_1 、 T_2 および T_3 が $T_1 > T_2 > T_3$ の関係を満たす、請求項 1 又は 2 に記載の振動子の製造方法。

【請求項 4】

前記 T_1 が 20 以上、600 未満である、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

20

【請求項 5】

前記 T_3 が 20 以上である、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

【請求項 6】

前記圧電セラミックスの脱分極温度 T_d と前記 T_2 が $T_2 > T_d$ の関係を満たす、請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

【請求項 7】

前記 T_d が 120 以下である、請求項 6 に記載の振動子の製造方法。

【請求項 8】

前記振動板の 20 の線膨張係数 α_s が $9.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以上 $20.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下である、請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

30

【請求項 9】

前記振動板が鋼を 50 質量%以上、クロムを 10.5 質量%以上含有する合金よりなる、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

【請求項 10】

前記圧電セラミックスの鉛の含有量が 1000 ppm 未満である、請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

【請求項 11】

前記 α_s と前記圧電セラミックスの 20 の線膨張係数 α_p とが、 $0.5 < \alpha_s / \alpha_p < 1.5$ の関係を満たす、請求項 8 乃至 10 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

40

【請求項 12】

前記振動板の 20 のヤング率 Y_s と前記圧電セラミックスの 20 のヤング率 Y_p とが、 $0.5 < Y_s / Y_p < 2$ の関係を満たす、請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

【請求項 13】

前記圧電セラミックスがチタン酸バリウム系材料よりなる、請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

【請求項 14】

前記圧電セラミックスが直方体状であり、前記振動子が、節線が略直交する 2 つの面外

50

振動モードの組み合わせによる合成振動を生じる機能を有する、請求項 1 乃至 13 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

【請求項 15】

前記圧電素子は、前記給電部材が接する部分に 2 つの電極を有し、該 2 つの電極に接する部分の圧電セラミックスの極性が同じである、請求項 1 乃至 14 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法。

【請求項 16】

振動子と被駆動体と電圧入力手段とを有する振動波駆動装置の製造方法であって、請求項 1 乃至 15 のいずれか一項に記載の振動子の製造方法によって振動子を製造する工程と、

被駆動体を前記振動板に接するように設ける工程と、
を有することを特徴とする、振動波駆動装置の製造方法。

【請求項 17】

振動波駆動装置と光学部材とを有する光学機器の製造方法であって、請求項 16 に記載の振動波駆動装置の製造方法によって振動波駆動装置を製造する工程と、

前記振動波駆動装置と光学部材とを力学的に接続する工程と、
を有することを特徴とする、光学機器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動子の製造方法ならびに該製造方法を用いた振動波駆動装置の製造方法および光学機器の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波モータやインクジェットヘッドといった圧電デバイスには、振動板と圧電セラミックスを接着した圧電振動子が用いられている。圧電振動子の超音波モータへの適用例としては、特許文献 1 に 2 つの異なる振動モード（進行波）を組み合わせた合成振動によって、振動型駆動装置（超音波モータ）を駆動させることが開示されている。

【0003】

他方、それらの圧電振動子を製造する際には、振動板と圧電セラミックスを確実に接着するために、接着剤の硬化を 100 以上の温度で行うことが求められている。しかし、分極処理が施された圧電セラミックスは 100 以上の温度に曝されると脱分極を生じるおそれがある。そこで、特許文献 2 には圧電セラミックスが脱分極を生じないように、各種熱処理後に圧電セラミックスに再度分極処理を施す製造方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2004 - 297910 号公報

【特許文献 2】特開平 10 - 193623 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 2 に開示されている製造方法で、特許文献 1 のような圧電振動子を製造しようとする、接着剤を 100 以上で硬化させたにも拘らず、接着温度よりも高い温度で分極処理を行うこととなる。そのため、分極処理中に熱に弱い部材や接着剤が軟化し、圧電セラミックスと振動板の間に位置ずれが生じる場合があった。位置ずれが生じた圧電振動子を超音波モータに用いると、正進方向と逆進方向との駆動特性（例えば、駆動周波数、駆動速度、消費電力）が等価でなくなるという問題があった。

【0006】

10

20

30

40

50

本発明は、上述の問題に対処するためになされたものであり、正進方向と逆進方向との振動特性が実質的に等価である圧電振動子を歩留まり良く製造できる方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様としての振動子の製造方法は、振動子の製造方法であって、分極処理されていない圧電セラミックスに、電極を設けて圧電素子を得る工程と、前記圧電素子と振動板を温度 T_1 で接着する工程と、前記圧電素子と給電部材を温度 T_2 で接着する工程と、前記圧電セラミックスに対し、温度 T_3 で分極処理を施す工程とを順に実施し、前記 T_1 、 T_2 および T_3 が、 $T_1 > T_3$ かつ $T_2 > T_3$ の関係を満たすことを特徴とする。

10

【0008】

本発明の別の態様としての振動波駆動装置の製造方法は、振動子と被駆動体とを有する振動波駆動装置の製造方法であって、上記振動子の製造方法によって振動子を製造する工程と、前記被駆動体を前記振動板に接するように設ける工程とを有することを特徴とする。

【0009】

本発明のさらに別の態様としての光学機器の製造方法は、振動波駆動装置と光学部材とを有する光学機器の製造方法であって、上記振動波駆動装置の製造方法によって振動波駆動装置を製造する工程と、前記振動波駆動装置と前記光学部材とを力学的に接続する工程とを有することを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、正進方向と逆進方向との振動特性が実質的に等価である振動子を歩留まり良く提供できる。また、正進方向と逆進方向の駆動特性が実質的に等価である振動波駆動装置および光学機器を歩留まり良く提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の振動子の製造方法の製造フローを示したものである。

【図2】分極処理が施されていない圧電セラミックスに第一の電極と第二の電極を設けた圧電素子の一実施形態を示した概略図である。

30

【図3】圧電素子に振動板を設けた一実施形態を示した概略図である。

【図4】圧電素子の第二の電極に給電部材を設けた圧電振動子の一実施形態を示した概略図である。

【図5】2つの面外振動モードの一実施形態を示した概略図である。

【図6】圧電素子の電極パターンの一実施形態を示した概略図である。

【図7】本発明の製造方法によって製造される振動波駆動装置の一実施形態を示した概略図である。

【図8】本発明の製造方法によって製造される振動波駆動装置の一実施形態を示した概略図である。

【図9】本発明の製造方法によって得られた振動子の正進方向の消費電力の周波数依存性を示した概略図である。

40

【図10】本発明の製造方法によって製造される光学機器の一実施形態を示した概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明の振動子の製造方法は、分極処理されていない圧電セラミックスに、電極を設けて圧電素子を得る工程と、前記圧電素子と振動板を温度 T_1 （単位 ）で接着する工程と、前記圧電素子と給電部材を温度 T_2 （単位 ）で接着する工程と、前記圧電セラミックスに対し温度 T_3 （単位 ）で分極処理を施す工程とを順に実施し、前記 T_1 、 T_2 および T_3 が、 $T_1 > T_3$ かつ $T_2 > T_3$ の関係を満たすことを特徴とする。

50

【0013】

その具体的な一例としては下記の製造方法がある。

分極処理が施された圧電セラミックスと該圧電セラミックスに接して設けられた第一の電極と第二の電極を有する圧電素子と、前記第一の電極に接する第一の接着部を介して設けられた振動板と、前記第二の電極に接する第二の接着部を介して設けられた給電部材とを有する振動子の製造方法であって、分極処理が施されていない圧電セラミックスに、前記第一の電極と前記第二の電極を設けて圧電素子を得る工程と、前記第一の電極と前記振動板との間に、温度 T_1 （単位 ）で前記第一の接着部を形成する工程と、前記第二の電極と前記給電部材との間に温度 T_2 （単位 ）で前記第二の接着部を形成する工程と、前記圧電セラミックスに対し、温度 T_3 （単位 ）で分極処理を施す工程とを順に実施し、前記 T_1 、 T_2 および T_3 が、 $T_1 > T_3$ かつ $T_2 > T_3$ の関係を満たすことを特徴とする。

10

【0014】

この製造方法により正進方向と逆進方向との振動特性が実質的に等価である振動子を歩留まり良く製造することができる。

【0015】

図1は本発明の振動子の製造方法の製造フローを示したものである。また、図2は分極処理されていない圧電セラミックスに電極を設けた圧電素子の一実施形態を示した概略図であり、分極処理されていない圧電セラミックス1に、第一の電極2と第二の電極3を設けた圧電素子101が示されている。

20

【0016】

（圧電セラミックス）

圧電セラミックス1は、金属元素を有する原料粉末を焼成して得られる、組成が均一のバルク（焼結体）であって、分極処理を施すことにより、20において、圧電定数 d_{31} の絶対値が 10 p m / V 以上または圧電定数 d_{33} が 30 p C / N 以上を示すセラミックスである。圧電特性を潜在的に有しているという意味において、分極処理されていないセラミックスも圧電セラミックスと以下呼称する。

【0017】

ここで、分極処理されていない圧電セラミックスとは、20において、圧電定数 d_{31} の絶対値が 10 p m / V 未満かつ圧電定数 d_{33} が 30 p C / N 未満である圧電セラミックスを指す。後述するように、圧電振動子の特性バラつきを少なくするという観点において、分極処理されていない圧電セラミックスのより好ましい圧電定数の範囲は、圧電定数 d_{31} の絶対値が 4 p m / V 未満かつ圧電定数 d_{33} が 10 p C / N 未満である。

30

【0018】

セラミックスは、一般的に微細な結晶の集まり（多結晶とも言う）で、1つ1つの結晶は正の電荷を持つ原子と負の電荷を持つ原子から構成されている。セラミックスの多くはこの正の電荷と負の電荷のつりあいが取れた状態になっている。しかし、誘電体セラミックスのなかには、強誘電体といって、自然状態でも、結晶中の正負の電荷のつりあいが取れておらず、電荷の偏り（自発分極）を生じているものがある。分極処理が施されていない強誘電体セラミックスは、この自発分極の向きがランダムで、セラミックス全体としては、見かけ上、電荷の偏りがないように見える。しかし、分極処理が施されていない強誘電体セラミックスに高い電圧を加えると、自発分極の向きが一様の方向に揃い、電圧を取り除いても元に戻らなくなる。このように自発分極の向きを揃えることを分極処理という。

40

【0019】

ここで、圧電セラミックスに対し分極処理がされているか否かは、圧電セラミックスに電極を設けて、圧電セラミックスの圧電定数を測定することにより判断できる。圧電セラミックスの圧電定数は、この圧電セラミックスの密度ならびに共振周波数および反共振周波数から、電子情報技術産業規格（J E I T A E M - 4 5 0 1）に基づいて、計算により求めることができる。以下、この方法を共振 - 反共振法と呼ぶ。

50

【0020】

密度は、例えば、アルキメデス法により測定できる。共振周波数と反共振周波数はインピーダンスアナライザを用いて測定できる。また、共振 - 反共振法以外にも、ベルリンコート法を測定原理に用いた圧電定数測定装置により測定することも可能である。

【0021】

圧電セラミックスは分極処理されていないと、本発明の方法で圧電振動子を得た際に、圧電振動子の振動特性のパラツキが少なくなる。ここで、振動特性とは振動子の変位振幅や共振周波数のことを指す。一方、分極処理された圧電セラミックスを用いると、後述する各種加熱工程中に圧電セラミックスの圧電定数が変動する。また、その変動量を制御することは困難であるため、後述する分極処理を施す工程の前の段階で圧電セラミックスの圧電定数は大きなパラツキを有することになる。それゆえ、分極処理が施された後の圧電振動子の振動特性も大きなパラツキを有するようになる。

10

【0022】

(電極)

第一の電極2と第二の電極3は厚み5nmから10 μ m程度の導電性の材料よりなる。その材料は特に限定されず、例えば、Ti、Pt、Au、Ni、Pd、Ag、Cuなどの金属およびこれらの化合物を用いることができる。低コストかつ十分な導電性を有するという観点においては、銀ペーストが好ましい。また、分極処理されていない圧電セラミックスに、電極を設ける工程は特に限定されないが、銀ペーストによる第一の電極2および第二の電極3は、圧電セラミックス上に所望のパターンで前記銀ペーストを塗布し、乾燥または焼き付けることで形成できる。ここで、第一の電極は例えばグラウンド電極として、第二の電極は例えば駆動相電極として使用できる。

20

【0023】

次に、図3に示すように、第一の電極2と振動板6を温度T1(単位)で接着する。以下、当該接着部分は第一の接着部4と呼称する。

【0024】

図3は圧電素子に振動板を設けた一実施形態を示した概略図であり、圧電素子101と振動板6は第一の接着部4を介して設けられる。振動板6と圧電素子101とを一体化して、面外方向に曲げ振動の進行波(以下、面外振動と呼ぶ)を形成させるためである。ここで、圧電素子101の第一の電極2は第一の接着部4と接している。第一の接着部4は接着剤を硬化させることによって得られ、接着剤としてはエポキシ系樹脂が好適に用いられる。

30

【0025】

温度T1は、接着剤が短時間で硬化し、かつ、第一の接着部4が十分な接着強度を有する温度にする。具体的には、20以上であり、80以上が好ましく、より好ましくは120以上である。ただし、600以上では振動板6が変質してしまうおそれがあるため、600未満が好ましい。なお、温度T1は環境温度ではなく、圧電素子101の温度を意味しており、熱電対や放射温度計を用いて測定することが出来る。後述するT2およびT3もT1同様に圧電素子101の温度を指す。

【0026】

圧電素子101と振動板6は、それぞれの接着面の中心が互いに一致するように設けることが好ましい。そうすることにより、正進方向と逆進方向の振動特性は等価となり、圧電振動子の歩留まりがより高くなる。

40

【0027】

次に、図4に示すように、第二の電極3と給電部材7を温度T2(単位)で接着する。以下、当該接着部分は第二の接着部5と呼称する。

【0028】

図4は圧電素子の第二の電極3上に給電部材7を設けた圧電振動子1011の一実施形態を示した概略図である。図4(a)に示すように第二の電極3と給電部材7は、第二の接着部5を介して設けられる。図4(b)は圧電振動子1011を給電部材7側からみた

50

概略図であり、第二の電極 3 は 2 つの駆動相電極 3 1 よりなる。図 4 (c) は圧電振動子 1 0 1 1 を第一の電極 2 側から見た概略図である。ここで第一の電極面側のグラウンド電極 2 1 は第一の電極面から回り込み電極を通じて第二の電極面側のグラウンド電極 2 1 と導通している。このような構成にすることによって、グラウンド電極 2 1 と 2 つの駆動相電極 3 1 間の導通を 1 つの給電部材で行うことが可能となる。

【 0 0 2 9 】

圧電素子 1 0 1 は給電部材 7 中の電気配線 7 a を通じて、不図示の電圧入力手段 (例えば、電源) との導通を行う。給電部材 7 は寸法精度が高く、かつ、位置決めが容易であるという観点より、フレキシブルプリント基板を用いることが好ましい。その材質としてはポリイミドが好ましい。第二の接着部 5 が形成されることにより、駆動相電極 3 1 およびグラウンド電極 2 1 と給電部材 7 は導通する。第二の接着部 5 の材質としては、異方性導電ペースト (A C P) もしくは異方性導電フィルム (A C F) が好ましい。

10

【 0 0 3 0 】

温度 T_2 は、圧電セラミックス 1 の脱分極温度 T_d (単位) と $T_2 > T_d$ の関係を満たすことが好ましい。この関係を満たすことにより、圧電セラミックスの圧電定数を限りなく 0 に近づけることが出来る。ここで、脱分極温度 T_d とは、圧電セラミックス 1 に分極処理を施して充分時間が経過した後に、室温 (例えば $20 \sim 30$) からある温度まで上げ、再度室温まで下げたときに、圧電定数が温度を上げる前の圧電定数に比べて減少する温度を指す。本発明においては、温度を上げる前の圧電定数の 90% 未満となる温度を脱分極温度 T_d と呼ぶ。

20

【 0 0 3 1 】

温度 T_2 は、接着剤が短時間で硬化し、かつ、第二の接着部 5 が十分な接着強度を有する温度とする。具体的には、 20 以上であり、 100 以上が好ましく、より好ましくは 140 以上である。 140 以上であれば 10 秒から 30 秒程度で、第二の接着部 5 は十分な接着強度を得られる。また、第二の接着部 5 を熱圧着して形成する際の圧力は、 $1 \text{ MPa} / \text{cm}^2$ 以上であることが好ましい。 $1 \text{ MPa} / \text{cm}^2$ 未満であると、いわゆる浮きが発生するおそれがある。

【 0 0 3 2 】

給電部材 7 は、2 つの駆動相電極 3 1 の領域に均等な面積で接着されることが好ましい。仮に極端な面積差が生じると、圧電振動子 1 0 1 1 が振動する際に、給電部材 7 が振動を阻害する領域に差が生じ、結果、正進方向と逆進方向の振動特性が等価でなくなるおそれがある。

30

【 0 0 3 3 】

そして、圧電セラミックス 1 に対し、温度 T_3 (単位) で分極処理を施して圧電振動子 1 0 1 1 を得る。

【 0 0 3 4 】

分極処理は圧電セラミックス 1 の圧電定数が十分となるように行う。このとき分極処理を施す温度 T_3 は、 $T_1 > T_3$ かつ $T_2 > T_3$ の関係を満たすようにする。ここで温度 T_3 とは圧電セラミックス 1 に分極処理を施す際の最高温度のことである。分極処理を具体的に説明すると、まず室温 (例えば、 20) で分極装置に圧電セラミックス 1 を配置する。次に温度を温度 T_3 まで上昇させてから圧電セラミックス 1 に電圧を印加する。そして、電圧を印加させたまま室温 (例えば、 20) まで温度を降下させる。そこで、印加電圧を 0 にして分極処理は完了する。

40

【 0 0 3 5 】

温度 T_3 が温度 T_1 より高いと圧電素子 1 0 1 と振動板 6 の間に設けられた第一の接着部 4 が軟化し、圧電素子 1 0 1 の接着面の中心と振動板 6 の接着面の中心とがずれ、正進方向と逆進方向の振動特性は等価でなくなる。一方、温度 T_3 が温度 T_2 より高いと第二の接着部 5 が軟化し、給電部材 7 の中心線と圧電素子 1 0 1 の長辺方向の中心線とがずれることがあるため、製造の歩留まりが低下する。そうすると、給電部材 7 が 2 つの駆動相電極 3 1 の領域に均等な面積で接着されず、圧電振動子 1 0 1 1 が振動する際に、給電部

50

材 7 が振動を阻害する領域に差が生じ、結果、正進方向と逆進方向の振動特性が等価でなくなるおそれがある。したがって、温度 T_1 、温度 T_2 および温度 T_3 の関係は $T_1 > T_2 > T_3$ であることが好ましい。そうすることにより、より確実に等価な振動特性を得られるようになる。

【0036】

また、温度 T_3 と前記圧電素子と前記振動板の間の第一の接着部 4 のガラス転移温度 T_{g1} と前記圧電素子と前記給電部材の間の第二の接着部 5 のガラス転移温度 T_{g2} とが、 $T_{g1} > T_3$ および $T_{g2} > T_3$ の関係を満たすことが好ましい。温度 T_3 が T_{g1} および T_{g2} 以上であると、第一の接着部 4 および第二の接着部 5 は一度軟化する。そして分極処理を終了させる際に温度が温度 T_{g1} および温度 T_{g2} より低くなると第一の接着部 4 および第二の接着部 5 は再硬化する。その際に、圧電素子 101 の接着面の中心と振動板 6 の接着面の中心とがずれるおそれがある。そうすると、正進方向と逆進方向の振動特性が等価でなくなるおそれがあるので好ましくない。

【0037】

分極処理を施す際に、圧電セラミックス 1 に電圧を印加するための手段は特に限定されない。圧電素子 101 の第一の電極 2 および第二の電極 3 を通じて行っても良いし、給電部材 7 を通じて行っても構わない。分極処理を施す際の圧電セラミックス 1 に印加する電界強度は特に限定されないが、短時間で行うという観点において、 0.5 kV/mm から 2 kV/mm が好ましい。また、温度 T_3 は 20 以上であることが好ましい。温度 T_3 が 20 より低いと、圧電セラミックス 1 が十分な圧電定数を有する状態に至るまでの時間が長くなる場合がある。短時間で分極処理を終了させるという観点では、 100 以上が好ましく、 120 以上がより好ましい。

【0038】

(振動板の組成、物性)

振動板 6 は弾性体よりなる。その材質は性質及び加工性の観点から金属よりなることが好ましい。振動板 6 に使用可能な金属としては、アルミ、真鍮、ステンレス鋼、Fe-Ni 36% 合金を例示できる。中でも、第一の接着部 4 を介した圧電素子 101 との密着強度を確保するという観点においては、ステンレス鋼が好ましい。ここでステンレス鋼とは鋼を 50 質量% 以上、クロムを 10.5 質量% 以上含有する合金を指す。ステンレス鋼の中でも、マルテンサイト系ステンレス鋼が好ましく、SUS 420J2 が最も好ましい。

【0039】

また、振動板 6 の 20 の線膨張係数 α は $9.0 \times 10^{-6} /$ 以上 $20.0 \times 10^{-6} /$ 以下であることが好ましい。線膨張係数 α の値がこの範囲であれば、圧電素子 101 の第一の電極 2 と振動板 6 との間に温度 T_1 で第一の接着部 4 を形成する際に、圧電セラミックス 1 との線膨張差起因による剥がれが生じにくくなる。線膨張係数は、例えば、温度を変化させて、歪ゲージを用いて歪を測定し、計算により求めることができる。

【0040】

(圧電セラミックスの組成、物性)

圧電セラミックス 1 は、鉛の含有量が 1000 ppm 未満、すなわち非鉛系であることが好ましい。従来の圧電セラミックスは、そのほとんどがジルコン酸チタン酸鉛 (PZT) を主成分とする。そのため、例えば圧電素子が廃却され酸性雨を浴びたり、過酷な環境に放置されたりした際に、圧電セラミックス中の鉛成分が土壌に溶け出し、生態系に害を及ぼす可能性が指摘されている。しかし、鉛の含有量が 1000 ppm 未満であれば、圧電素子が廃却され酸性雨を浴びたり、過酷な環境に放置されたりしても、圧電セラミックスに含まれる鉛成分が環境に及ぼす影響は無視できるレベルとなる。圧電セラミックスに含まれる鉛の含有量は、例えば蛍光 X 線分析 (XRF)、ICP 発光分光分析により定量された圧電セラミックスの総重量に対する鉛の含有量によって評価することができる。

【0041】

圧電セラミックス 1 の 20 の線膨張係数 β と振動板 6 の 20 の線膨張係数 α とが、 $0.5 \leq \alpha / \beta \leq 1.5$ の関係を満たすことが好ましい。すなわち、振動板 6 の

線膨張係数 s は、圧電セラミックス 1 の線膨張係数 p の 0.5 倍以上 1.5 倍以下であることが好ましい。 p と s の関係がこれを満たさないと、振動板 6 と圧電セラミックス 1 の線膨張差が大きくなってしまい、本発明の製造方法における各種加熱工程から室温（例えば、20 ~ 30）に戻した際に、圧電素子 101 と振動板 6 との間に、剥がれや位置ずれが生じる可能性が高くなるためである。

【0042】

また、振動板 6 の 20 のヤング率 Y_s と圧電セラミックス 1 の 20 のヤング率 Y_p とが、 $0.5 Y_s / Y_p \geq 2$ の関係を満たすことが好ましい。すなわち、振動板 6 のヤング率 Y_s は圧電セラミックス 1 のヤング率 Y_p の 0.5 倍以上 2 倍以下であることが好ましい。 Y_s と Y_p の関係がこれを満たさないと、振動板 6 と圧電セラミックス 1 のヤング率差が大きくなり過ぎるため、温度 T_3 で分極処理した際に、圧電素子 101 と振動板 6 との間に剥がれや位置ずれが生じる可能性が高くなるためである。前記 Y_s は、例えば、引張試験や圧縮試験より、応力 - ひずみ線図の傾きを求めて算出できる。前記 Y_p は、例えば、インピーダンスアナライザを用いて共振 - 反共振法によって測定できる。

10

【0043】

圧電セラミックス 1 の組成は特に限定されないが、圧電定数が高く、かつ製造が比較的容易であるという観点からチタン酸バリウム系材料よりなることが好ましい。ここでチタン酸バリウム系材料とは、チタン酸バリウム ($BaTiO_3$)、チタン酸バリウムカルシウム ($(Ba, Ca)TiO_3$)、チタン酸ジルコン酸バリウム ($Ba(Ti, Zr)O_3$)、チタン酸ジルコン酸バリウムカルシウム ($(Ba, Ca)(Ti, Zr)O_3$)、ニオブ酸ナトリウム - チタン酸バリウム ($NaNbO_3 - BaTiO_3$)、チタン酸ビスマスナトリウム - チタン酸バリウム ($(Bi, Na)TiO_3 - BaTiO_3$)、チタン酸ビスマスカリウム - チタン酸バリウム ($(Bi, K)TiO_3 - BaTiO_3$) などの組成や、これらの組成を主成分とした材料のことを指す。中でも、圧電セラミックスの圧電定数と機械的品質係数を両立できるという観点において、チタン酸ジルコン酸バリウムカルシウム ($(Ba, Ca)(Ti, Zr)O_3$)、ニオブ酸ナトリウム - チタン酸バリウム ($NaNbO_3 - BaTiO_3$) を主成分とすることが好ましい。主成分以外の元素としては、マンガンやビスマスを含むことが好ましい。

20

【0044】

圧電セラミックスの脱分極温度 T_d は 120 以下であることが好ましい。前記 T_d が 120 以下であると、前記第二の接着部 5 を形成する工程までに圧電セラミックスの圧電定数を限りなく 0 に近づけることが出来るためである。

30

【0045】

(圧電振動子の機能)

本発明で製造される圧電振動子 1011 は、圧電セラミックス 1 が直方体状であり、圧電振動子 1011 が、節線が略直交する 2 つの面外振動モードの組み合わせによる合成振動を生じる機能を有することが好ましい。ここで直方体状とは、直方体だけでなく、直方体の各辺が面取りされているような形状も含む。

【0046】

次に、2 つの面外振動モードを説明する。図 5 は、2 つの面外振動モードの一実施形態を示した概略図であり、振動板 6 は突起部 61 を有している。突起部 61 を有すると、圧電振動子 1011 が発生する振動を接触体（例えば、後述する被駆動体）に効率よく伝達することができる。図 5 (a) に示した振動モードは、2 つの面外振動モードのうち一方の面外振動モード（以下、A モードと呼ぶ）を表している。この A モードは、直方体状（矩形）の圧電振動子 1011 の長辺方向（矢印 X 方向）における 2 次の面外振動であり、短辺方向（矢印 Y 方向）と平行な 3 本の節線を有している。

40

【0047】

突起部 61 は A モードの振動で節となる位置の近傍に配置されており、A モードの振動により矢印 X 方向で往復運動を行う。このように突起部 61 を配置することにより、突起部 61 を矢印 X 方向で最も大きく変位させることができる。

50

【0048】

また、図5(b)に示した振動モードは、2つの面外振動モードのうち他方の面外振動モード(以下、Bモードと呼ぶ)を表している。このBモードは、直方体状(矩形)の圧電振動子1011の短辺方向(矢印Y方向)における1次の面外振動であり、長辺方向(矢印X方向)と平行な2本の節線を有している。

【0049】

また、突起部61はBモードの振動で腹となる位置の近傍に配置されており、Bモードの振動により矢印Z方向で往復運動を行う。このように突起部61を配置することにより、突起部61を矢印Z方向で最も大きく変位させることができる。

【0050】

ここで、Aモードにおける節線と、Bモードにおける節線とは、XY平面内において略直交する。

【0051】

このように、Aモードの節線とBモードの節線とを略直交させることにより、Aモードの節の位置とBモードの腹の位置とを一致させることができる。その結果、前記2つの面外振動モードの組み合わせにより生じる合成振動は、突起部61を配置することにより、突起部61で振動変位を最も大きくすることができる。

【0052】

本発明で製造される圧電振動子は、圧電素子が、給電部材が接する部分に2つの電極を有し、この2つの電極に接する部分の圧電セラミックスの極性が同じであることが好ましい。ここで2つの電極とは駆動相電極を指す。

【0053】

図6は圧電素子の電極パターンの一実施形態を示した概略図である。図6に示したように、圧電素子101には、この長辺方向(X方向)で2等分された駆動相電極31が形成されている。また、各駆動相電極31における分極方向は、同一方向(「+」)となっている。

【0054】

圧電素子101全域にわたり、分極方向が同一方向に揃うことで、分極方向が異なる圧電素子に比べて、分極装置を簡便な機構にできるという観点で分極処理を容易に行うことができる。さらに、駆動相電極31の境界付近における圧電素子101の剛性が均一となり、圧電振動子の正進方向と逆進方向の振動特性が等価でなくなる確率を低減できる。

【0055】

(振動波駆動装置の製造方法)

本発明の振動波駆動装置の製造方法は、圧電振動子と被駆動体と電圧入力手段とを有する振動波駆動装置の製造方法であって、前述した圧電振動子の製造方法によって圧電振動子を製造する工程と、前記被駆動体を前記振動板に接するように設ける工程とを有する。

【0056】

図7および図8は本発明の製造方法によって製造される振動波駆動装置の一実施形態を示した概略図である。

【0057】

図7のように被駆動体(スライダ)8は突起部61を介して振動板6上に設けられる。2つの突起部61は、振動板6の中心を通るXZ平面又はYZ平面に対して対称に配置させることが好ましい。圧電振動子1011が突起部61において被駆動体(スライダ)8から受ける反力に偏りがなくなるためである。ここで突起部61の先端は被駆動体(スライダ)8が加圧接触されていることが好ましい。そうすることにより、被駆動体(スライダ)8は突起部61の楕円運動によって矢印方向に移動することができる。

【0058】

図8に示すように、電圧入力手段9は、圧電振動子1011に電圧を印加するために設けられる。圧電素子101の2つの駆動相電極31のうち右側に位置する駆動相電極31に交番電圧(V1)を、左側に位置する駆動相電極31には交番電圧(V2)をそれぞれ

10

20

30

40

50

印加する。ここで、 V_1 と V_2 の振幅の絶対値は同じである。

【0059】

V_1 および V_2 を、Aモードの共振周波数付近の周波数で、かつ位相を 180° ずらして印加すると、右側の駆動相電極31の圧電素子101が縮むとともに、左側の駆動相電極31の圧電素子101が伸びたり、左側の駆動相電極31の圧電素子101が縮むとともに、右側の駆動相電極31の圧電素子101が伸びたりする。この結果、圧電振動子1011にはAモードの振動が発生する。また、 V_1 および V_2 を、Bモードの共振周波数付近の周波数で、かつ位相を同一(0°)にして印加すると、圧電素子101全体(駆動相電極31)がある瞬間には伸びたり縮んだりする。この結果、圧電振動子1011にはBモードの振動が発生する。

10

【0060】

このとき、 V_1 と V_2 の位相差を 0° と 180° の間の位相差($0^\circ < < 180^\circ$)とすると、($V_1 + V_2$)と($V_1 - V_2$)の合成ベクトルは直交する。これは、AモードとBモードの振動が同時に発生し、かつ振動の位相差が 90° ずれていることを意味している。この結果、振動板6上の突起部61に楕円運動を発生させることができ、突起部61に接触させた被駆動体(スライダ)8を駆動することが可能となる。

【0061】

すなわち、 V_1 および V_2 の電圧振幅を同じとし、 V_1 および V_2 の位相差を $0^\circ < < 180^\circ$ とすれば、AモードとBモードを同時に発生させることができ、振動の位相差は必ず 90° 又は -90° のいずれかになる。また、 V_1 と V_2 の位相差を変更することにより、AモードとBモードの振幅を変更することができることとなる。

20

【0062】

(振動波駆動装置の駆動特性の測定方法)

次に、振動波駆動装置の駆動特性の測定方法について説明する。

まず、圧電振動子1011に交番電圧 V_1 と交番電圧 V_2 を印加する。ここで周波数は同一、 V_1 と V_2 の位相差は 90° である。このとき、振動板6の突起部61に楕円振動が発生する。そして、固定された被駆動体8(スライダ)に対し、圧電振動子1011は一方向(正進方向)に直線運動を起こす。このときの駆動速度、駆動周波数、消費電力を振動波駆動装置の駆動特性と呼ぶ。

【0063】

一方、圧電振動子1011に交番電圧 V_1 と交番電圧 V_2 を、 V_1 と V_2 の位相差を -90° にして印加する。すると、位相差を 90° にしたときとは、逆方向(逆進方向)に直線運動を起こす。振動波駆動装置は、これら正進方向と逆進方向の駆動特性が等価であることが望ましい。

30

【0064】

本発明においては、以下の2つを満たせば、振動波駆動装置の駆動特性は等価であると定義する。

(1) 正進方向の最高速度に対する逆進方向の最高速度の割合が 80% 以上 120% 以下の範囲にあること

(2) 正進方向の最高速度到達時の周波数と逆進方向の最高速度到達時の周波数との差が $\pm 1\text{kHz}$ 以内の範囲にあること

40

また、この測定方法と同一の原理で、圧電振動子の振動特性も評価することができる。

【0065】

まず、圧電振動子1011に交番電圧 V_1 と交番電圧 V_2 を、 V_1 と V_2 の位相差を -90° にして、周波数を掃引する。すると周波数に応じて、図9に示すような周波数に応じた電力のグラフが描ける。図9は本発明の製造方法によって得られた圧電振動子の正進方向の消費電力の周波数依存性を示した代表図であり、 V_1 と V_2 の振幅は 10Vpp としたときのものである。このとき現れる2つのピークは、それぞれAモードとBモードに対応したピークである。

【0066】

50

次に、圧電振動子 1011 に交番電圧 V1 と交番電圧 V2 を、V1 と V2 の位相差を 90° にして、周波数を掃引する。すると、位相差 -90° のときと同様に、逆進方向における消費電力の周波数依存性のグラフが得られる。この正進方向と逆進方向の消費電力を、A モードの最大消費電力およびその時の周波数（A モードの共振周波数）と B モードの最大消費電力およびその時の周波数（B モードの共振周波数）という観点で比較することにより、圧電振動子 1011 が示す振動特性が正進方向と逆進方向とで等価であるかどうかを判断できる。

【0067】

本発明においては以下の 4 つを満たせば、圧電振動子 1011 の振動特性は等価であると定義する。

(1) A モードの正進方向の最大消費電力に対する A モードの逆進方向の最大消費電力に対する割合が 60% 以上 140% 以下の範囲にあること

(2) B モードの正進方向の最大消費電力に対する B モードの逆進方向の最大消費電力に対する割合が 60% 以上 140% 以下の範囲にあること

(3) A モードの正進方向の共振周波数と A モードの逆進方向の共振周波数との差が ±50 Hz 以内の範囲にあること

(4) B モードの正進方向の共振周波数と B モードの逆進方向の共振周波数との差が ±50 Hz 以内の範囲にあること

【0068】

(光学機器の製造方法)

本発明の光学機器の製造方法は、振動波駆動装置と光学部材とを有する光学機器の製造方法であって、前述した振動波駆動装置の製造方法によって振動波駆動装置を製造する工程と、前記振動波駆動装置と前記光学部材とを力学的に接続する工程とを有する。

【0069】

本発明において「力学的な接続」とは、一方の部材の座標変動、体積変化、形状変化によって生じた力が他方の部材に伝わるように直接的に接触している状態、または、第三の部材を介して接触している状態を指す。前述の製造方法によって製造された振動波駆動装置と光学部材とを力学的に接続することにより、正進方向と逆進方向に同等のフォーカス精度を有する光学機器を提供できる。

【0070】

図 10 は、本発明の製造方法によって製造される光学機器（鏡筒装置のフォーカスレンズ部）の一実施形態を示した概略図である。図 10 において、被駆動体（スライダ）8 は、圧電振動子 1011 と加圧接触している。また、給電部材 7 は、圧電振動子 1011 の第二の電極と第二の接着部を介して導通して熱圧着されている。不図示の電圧入力手段により、給電部材 7 を介して所望の電圧が圧電振動子 1011 に加えられると、振動板 6 の突起部（不図示）には楕円運動が発生する。

【0071】

保持部材 11 は、圧電振動子 1011 と溶接などにより固定されており、不要な振動を発生させないように構成されている。移動筐体 12 は、ビス 13 で保持部材 11 に固定され、圧電振動子 1011 と一体をなしている。これらの部材により超音波モータ（振動波駆動装置）が形成される。2 本のガイド部材 14 に移動筐体 12 を取り付けると、超音波モータは、ガイド部材 14 上を両方向（正進方向と逆進方向）に直進移動可能となる。

【0072】

次に、鏡筒装置のフォーカスレンズの役割を担うレンズ 16（光学部材）について説明する。レンズ 16 は、レンズ保持部材 15 に固定され、超音波モータの移動方向と平行に光軸（不図示）を有する。レンズ保持部材 15 は、超音波モータと同様に、後述する 2 本のガイド部材 14 上を直進移動することで、焦点位置合わせを行う。2 本のガイド部材 14 は移動筐体 12 とレンズ保持部材 15 とを嵌合して、移動筐体 12 とレンズ保持部材 15 を直進移動可能にする部材である。このような構成で、移動筐体 12 とレンズ保持部材

10

20

30

40

50

15はガイド部材14上を直進移動可能となる。

【0073】

また、連結部材17は、超音波モータで発生した駆動力をレンズ保持部材15へ伝達する部材であり、レンズ保持部材15に嵌合して取り付けられる。これにより、レンズ保持部材15は、移動筐体12と共に滑らかに2本のガイド部材14に沿って両方向に移動可能となる。

【0074】

また、センサ18は、レンズ保持部材15の側面部に貼り付けられたスケール19の位置情報を読み取ることで、ガイド部材14上でのレンズ保持部材15の位置を検出するために設ける。

【0075】

以上のように、上述した各部材を組み込んで、鏡筒装置のフォーカスレンズ部を構成する。

【0076】

上記においては、光学機器として、一眼レフカメラ用の鏡筒装置について説明したが、レンズとカメラ本体が一体となったコンパクトカメラ、電子スチルカメラ等、カメラの種類を問わず、振動波駆動装置を備えた多様な光学機器に適用することができる。

【実施例】

【0077】

次に実施例を挙げて、本発明の圧電振動子の製造方法、振動波駆動装置の製造方法および光学機器の製造方法を説明するが、本発明は、以下の実施例により限定されるものではない。なお、実施例は、図面に基づいて、図面中の符号を用いて説明する。

【0078】

(圧電振動子の製造方法)

(実施例1)

まず、金属酸化物粉末を焼成して分極処理が施されていない圧電セラミックス1を得た。

【0079】

圧電セラミックス1の組成を蛍光X線分析(XRF)で測定したところ、100重量部の $(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ に対してMnが金属換算で0.16重量部含まれており、鉛の含有量は1000ppm未満であった。すなわちチタン酸バリウム系の圧電セラミックスであった。

【0080】

続いて、圧電セラミックス1の各種パラメータを測定するために、圧電セラミックス1の両面にAu電極をスパッタ成膜し、 $10 \times 2.5 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 形状の試験片圧電素子を作製し、温度100、電界1kV/mm、時間30分の条件で分極した。この試験片圧電素子を評価したところ、脱分極温度Tdは104、20における線膨張係数 ρ は $8.1 \times 10^{-6} /$ 、ヤング率Ypは126GPa、圧電定数 d_{31} は-90pC/Vであった。

【0081】

次に、圧電セラミックス1を厚み0.34mmで略均一に研削、及び研磨加工した後に、 $8.7 \times 5.7 \text{ mm}^2$ のサイズに切断した。圧電セラミックス1の両面に、銀ペーストを用いて図4(b)に示すような駆動相電極31およびグラウンド電極21をスクリーン印刷によって形成し、圧電素子101を得た。

【0082】

次に、図4のように圧電素子101のグラウンド電極21と振動板6との間に温度 $T_1 = 160$ で第一の接着部4を形成した。振動板6としては、JIS規格の磁性ステンレス鋼SUS420J2を使用した。寸法は $9.0 \times 5.8 \times 0.3 \text{ mm}^3$ である。また、SUS420J2は、マルテンサイト系のステンレス鋼であり、組成は鋼を70質量%以上、クロムを12から14質量%含有している。その20における線膨張係数 s は1

10

20

30

40

50

0.0×10^{-6} / 、ヤング率 Y_s は 204 GPa である。

【0083】

第一の接着部 4 を、振動板 6 にエポキシ系の接着剤（ガラス転移温度 $T_g 1 = 120$ ）をディスペンサによって塗布し、圧電素子 101 のグラウンド電極面と振動板 6 とを加圧接触させながら恒温槽に入れて、 160 で 10 分保持することにより形成した。このとき、圧電素子 101 と振動板 6 は、位置決め治具を用いてそれぞれの接着面の中心が一致するように配置した。

【0084】

続いて、圧電素子 101 の振動板 6 がついていない第二の電極 3 を有する面において、駆動相電極 31 とグラウンド電極 21 と給電部材 7 との間に第二の接着部 5 を温度 $T_2 = 140$ で熱圧着して形成した。具体的には、圧電素子 101 にフレキシブルケーブルよりなる給電部材 7 を、主成分の高分子材料のガラス転移温度 $T_g 2$ が 120 である異方性導電性フィルム（ACF）で接続した。熱圧着の条件は、時間を 10 秒間、圧力を 2 MPa とした。

10

【0085】

そして、圧電セラミックス 1 に対し温度 $T_3 = 100$ で分極処理を施した。具体的には、圧電素子 101 の 2 つの駆動相電極 31 それぞれに分極用のコンタクトピンを接触させ、振動板 6 をグラウンドとして電圧を印加した。このとき圧電セラミックス 1 に印加される電界強度は 1.0 kV/mm 、時間は 30 分間とした。

【0086】

以上の工程により、圧電振動子 1011 を 10 個得た（以下、圧電振動子 A とする）。得られた圧電振動子 A は、振動板 6 の 20 の線膨張係数 s と圧電セラミックス 1 の 20 の線膨張係数 p との比は、 $s/p = 1.23$ であった。また、振動板 6 の 20 のヤング率 Y_s と圧電セラミックス 1 の 20 のヤング率 Y_p との比は、 $Y_s/Y_p = 1.62$ であった。

20

【0087】

（実施例 2）

圧電素子 101 のグラウンド電極 21 と振動板 6 との間に温度 $T_1 = 140$ で第一の接着部 4 を形成した点以外は、実施例 1 と同様の工程で圧電振動子 B を 10 個得た。

【0088】

（実施例 3）

圧電素子 101 のグラウンド電極 21 と振動板 6 との間に温度 $T_1 = 120$ で第一の接着部 4 を形成した点以外は、実施例 1 と同様の工程で圧電振動子 C を 10 個得た。

30

【0089】

（実施例 4）

圧電セラミックス 1 に対し温度 $T_3 = 135$ で分極処理を施した点以外は、実施例 2 と同様の工程で圧電振動子 D を 10 個得た。

【0090】

（実施例 5）

第一の接着部 4 にガラス転移温度 $T_g 1 = 110$ のエポキシ系の接着材を用いた点以外は、実施例 1 と同様の工程で圧電振動子 E を 10 個得た。

40

【0091】

（実施例 6）

分極処理が施されていない圧電セラミックス 1 として、金属酸化物粉末を焼成して 100 重量部の $(\text{Ba}_{0.86}\text{Ca}_{0.14})(\text{Ti}_{0.93}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ に対して Mn が金属換算で 0.14 重量部、 Bi が金属換算で 0.20 重量部含まれており、鉛の含有量が 1000 ppm 未満である圧電セラミックスを得た点以外は実施例 1 と同様の工程で圧電振動子 F を 10 個得た。

【0092】

圧電セラミックス 1 はチタン酸バリウム系であった。続いて、圧電セラミックス 1 の各

50

種パラメータを測定するために、圧電セラミックス1の両面にAu電極をスパッタ成膜し、 $10 \times 2.5 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 形状の試験片圧電素子を作製し、温度100、電界1kV/mm、時間30分の条件で分極した。この試験片圧電素子を評価したところ、脱分極温度Tdは106、20における線膨張係数 α は $7.8 \times 10^{-6} /$ 、ヤング率Ypは117GPa、圧電定数 d_{31} は-100pm/Vであった。

【0093】

得られた圧電振動子Fは、振動板6の20の線膨張係数 α_s と圧電セラミックス1の20の線膨張係数 α_p との比は、 $\alpha_s / \alpha_p = 1.28$ であった。また、振動板6の20のヤング率Ysと圧電セラミックス1の20のヤング率Ypとの比は、 $Y_s / Y_p = 1.74$ であった。

10

【0094】

(実施例7)

圧電素子101のグラウンド電極21と振動板6との間に温度 $T_1 = 120$ で第一の接着部4を形成した点以外は、実施例6と同様の工程で圧電振動子Gを10個得た。

【0095】

(実施例8)

分極処理が施されていない圧電セラミックス1として、金属酸化物粉末を焼成して100重量部の $(\text{Na}_{0.88}\text{Ba}_{0.12})(\text{Nb}_{0.88}\text{Ti}_{0.12})\text{O}_3$ に対してMnが金属換算で0.10重量部含まれており、鉛の含有量が1000ppm未満である圧電セラミックスを得た点、圧電セラミックス1に対し温度 $T_3 = 135$ で分極処理を施した点以外は実施例1と同様の工程で圧電振動子Hを10個得た。

20

【0096】

圧電セラミックス1はチタン酸バリウム系であった。続いて、圧電セラミックス1の各種パラメータを測定するために、圧電セラミックス1の両面にAu電極をスパッタ成膜し、 $10 \times 2.5 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 形状の試験片圧電素子を作製し、温度135、電界1kV/mm、時間30分の条件で分極した。この試験片圧電素子を評価したところ、脱分極温度Tdは170、20における線膨張係数 α は $8.4 \times 10^{-6} /$ 、ヤング率Ypは131GPa、圧電定数 d_{31} は-60pm/Vであった。

【0097】

得られた圧電振動子Hは、振動板6の20の線膨張係数 α_s と圧電セラミックス1の20の線膨張係数 α_p との比は、 $\alpha_s / \alpha_p = 1.19$ であった。また、振動板6の20のヤング率Ysと圧電セラミックス1の20のヤング率Ypとの比は、 $Y_s / Y_p = 1.56$ であった。

30

【0098】

(実施例9)

分極処理が施されていない圧電セラミックス1として、金属酸化物粉末を焼成して100重量部の $(\text{Na}_{0.90}\text{Ba}_{0.10})(\text{Nb}_{0.88}\text{Ti}_{0.12})\text{O}_3$ に対してMnが金属換算で0.20重量部含まれており、鉛の含有量が1000ppm未満である圧電セラミックスを得た点、圧電素子101の振動板6がついていない面において、駆動相電極31とグラウンド電極21と給電部材7との間に第二の接着部5を温度 $T_2 = 135$ で熱圧着して形成した点、圧電セラミックス1に対し温度 $T_3 = 130$ で分極処理を施した点以外は実施例8と同様の工程で圧電振動子Iを10個得た。

40

【0099】

圧電セラミックス1はチタン酸バリウム系であった。続いて、圧電セラミックス1の各種パラメータを測定するために、圧電セラミックス1の両面にAu電極をスパッタ成膜し、 $10 \times 2.5 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 形状の試験片圧電素子を作製し、温度130、電界1kV/mm、時間30分の条件で分極した。この試験片圧電素子を評価したところ、脱分極温度Tdは190、20における線膨張係数 α は $8.3 \times 10^{-6} /$ 、ヤング率Ypは128GPa、圧電定数 d_{31} は-65pm/Vであった。

【0100】

50

得られた圧電振動子 I は、振動板 6 の 20 の線膨張係数 s と圧電セラミックス 1 の 20 の線膨張係数 p との比は、 $s/p = 1.20$ であった。また、振動板 6 の 20 のヤング率 Y_s と圧電セラミックス 1 のヤング率 Y_p との比は、 $Y_s/Y_p = 1.59$ であった。

【0101】

(比較例 1)

まず、金属酸化物粉末を焼成して分極処理が施されていない圧電セラミックス 1 を得た。

【0102】

圧電セラミックス 1 の組成を蛍光 X 線分析 (XRF) で測定したところ、100 重量部の $(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ に対して Mn が金属換算で 0.16 重量部含まれており、鉛の含有量は 1000 ppm 未満であった。すなわちチタン酸バリウム系の圧電セラミックスであった。

【0103】

続いて、圧電セラミックス 1 の各種パラメータを測定するために、圧電セラミックス 1 の両面に Au 電極をスパッタ成膜し、 $10 \times 2.5 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 形状の試験片圧電素子を作製し、温度 100、電界 1 kV/mm、時間 30 分の条件で分極した。この試験片圧電素子を評価したところ、脱分極温度 T_d は 104、20 における線膨張係数 p は $8.1 \times 10^{-6}/$ 、ヤング率 Y_p は 126 GPa、圧電定数 d_{31} は -90 pm/V であった。

【0104】

次に、圧電セラミックス 1 を厚み 0.34 mm で略均一に研削、及び研磨加工した後に、 $8.7 \times 5.7 \text{ mm}^2$ のサイズに切断した。圧電セラミックス 1 の両面に、銀ペーストを用いて図 4 に示すような駆動相電極 31 およびグラウンド電極 21 をスクリーン印刷によって形成し、圧電素子 101 を得た。

【0105】

続いて、圧電セラミックス 1 に対し温度 $T_3 = 100$ で分極処理を施した。具体的には、圧電素子 101 の 2 つの駆動相電極 31 それぞれに分極用のコンタクトピンを接触させ、振動板 6 をグラウンドとして電圧を印加した。このとき圧電セラミックス 1 に印加される電界強度は 1.0 kV/mm、時間は 30 分間とした。

【0106】

次に、図 3 のように圧電素子 101 のグラウンド電極 21 と振動板 6 との間に温度 $T_1 = 160$ で第一の接着部 4 を形成した。振動板 6 としては、JIS 規格の磁性ステンレス鋼 SUS420J2 を準備した。寸法は $9.0 \times 5.8 \times 0.3 \text{ mm}^3$ である。また、SUS420J2 は、マルテンサイト系のステンレス鋼であり、組成は鋼を 70 質量%以上、クロムを 12 から 14 質量%含有している。その 20 における線膨張係数 s は $10.0 \times 10^{-6}/$ 、ヤング率は 204 GPa である。

【0107】

第一の接着部 4 を、振動板 6 にエポキシ系の接着剤 (ガラス転移温度 $T_{g1} = 120$) をディスペンサによって塗布し、圧電素子 101 のグラウンド電極面と振動板 6 とを加圧接触させながら恒温槽に入れて、160 で 10 分保持することにより形成した。このとき、圧電素子 101 と振動板 6 は、位置決め治具を用いてそれぞれの接着面の中心が一致するように配置した。

【0108】

続いて、圧電素子 101 の振動板 6 がついていない面において、駆動相電極 31 とグラウンド電極 21 と給電部材 7 との間に第二の接着部 5 を温度 $T_2 = 140$ で熱圧着して形成した。具体的には、圧電素子 101 にフレキシブルケーブルよりなる給電部材 7 を、主成分の高分子材料のガラス転移温度 T_{g2} が 120 である異方性導電性フィルム (ACF) で接続した。熱圧着の条件は、時間を 10 秒間、圧力を 2 MPa とした。

【0109】

10

20

30

40

50

そして、圧電セラミックス 1 に対し温度 $T_3 = 100$ で分極処理を施した。具体的には、圧電素子 101 の 2 つの駆動相電極 31 それぞれに分極用のコンタクトピンを接触させ、振動板 6 をグラウンドとして電圧を印加した。このとき圧電セラミックス 1 に印加される電界強度は 1.0 kV/mm 、時間は 30 分間とした。

【0110】

以上の工程により、圧電振動子 1011 を 10 個得た（以下、圧電振動子 J とする）。得られた圧電振動子 J は、振動板 6 の 20 の線膨張係数 s と圧電セラミックス 1 の 20 の線膨張係数 p との比は、 $s/p = 1.23$ であった。また、振動板 6 の 20 のヤング率 Y_s と圧電セラミックス 1 の 20 のヤング率 Y_p との比は、 $Y_s/Y_p = 1.62$ であった。

10

【0111】

（比較例 2）

圧電素子 101 のグラウンド電極 21 と振動板 6 との間に温度 $T_1 = 120$ で第一の接着部 4 を形成した点、圧電セラミックス 1 に対し温度 $T_3 = 135$ で分極処理した点以外は、実施例 1 と同様の工程で圧電振動子 K を 10 個得た。

【0112】

（比較例 3）

圧電素子 101 のグラウンド電極 21 と振動板 6 との間に温度 $T_1 = 120$ で第一の接着部 4 を形成した点、圧電素子 101 の駆動相電極 31 とグラウンド電極 21 に、熱硬化性樹脂を有する給電部材 7 を $T_2 = 100$ で熱圧着した点、圧電素子 101 を $T_3 = 100$ で分極処理した点、ガラス転移温度 $T_g = 110$ のエポキシ系の接着材を用いた点以外は、実施例 1 と同様の工程で圧電振動子 L を 10 個得た。

20

【0113】

（比較例 4）

圧電セラミックス 1 に 100 重量部の $(\text{Pb}_{0.98}\text{Sr}_{0.02})(\text{Zr}_{0.55}\text{Ti}_{0.45})\text{O}_3$ に対して Mn が金属換算で 0.10 重量部含まれている圧電セラミックスを用いた点、圧電素子 101 を $T_3 = 170$ で分極処理を施した点以外は実施例 1 と同様の工程で圧電振動子 M を 10 個得た。

【0114】

圧電セラミックス 1 は鉛系である。また、圧電セラミックス 1 の脱分極温度 T_d は 300、20 における線膨張係数 p は $4.0 \times 10^{-6}/$ 、ヤング率 Y_p は 85 GPa、圧電定数 d_{31} は -130 pm/V である。

30

【0115】

得られた圧電振動子 M は、振動板 6 の 20 の線膨張係数 s と圧電セラミックス 1 の 20 の線膨張係数 p との比は、 $s/p = 2.50$ であった。また、振動板 6 の 20 のヤング率 Y_s と圧電セラミックス 1 の 20 のヤング率 Y_p との比は、 $Y_s/Y_p = 2.40$ であった。

【0116】

（比較例 5）

圧電素子 101 の振動板 6 がついていない面において、駆動相電極 31 とグラウンド電極 21 と給電部材 7 との間に第二の接着部 5 を温度 $T_2 = 180$ で熱圧着して形成した点、圧電セラミックス 1 に対し温度 $T_3 = 160$ で分極処理を施した点以外は、比較例 4 と同様の工程で圧電振動子 N を 10 個得た。

40

以上の実施例、比較例の製造条件を表 1 に示す。

【0117】

【表 1】

表1

	製造方法					接着部		振動板			圧電セラミックス				圧電振動子	
	分極有無	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	Tg1 [°C]	Tg2 [°C]	組成	α_s [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	Y_s [10^9Pa]	組成	T_d [°C]	α_p [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	Y_p [10^9Pa]	α_s/α_p	Y_s/Y_p	
実施例1	なし	160	140	100	120	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ1	104	8.1	126	1.23	1.62	
実施例2	なし	140	140	100	120	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ1	104	8.1	126	1.23	1.62	
実施例3	なし	120	140	100	120	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ1	104	8.1	126	1.23	1.62	
実施例4	なし	140	140	135	120	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ1	104	8.1	126	1.23	1.62	
実施例5	なし	160	140	100	110	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ1	104	8.1	126	1.23	1.62	
実施例6	なし	160	140	100	120	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ2	106	7.8	117	1.28	1.74	
実施例7	なし	120	140	100	120	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ2	106	7.8	117	1.28	1.74	
実施例8	なし	160	140	135	120	120	SUS420J2	10.0	204	NNBT1	170	8.4	131	1.19	1.56	
実施例9	なし	160	135	130	120	120	SUS420J2	10.0	204	NNBT2	190	8.3	128	1.20	1.59	
比較例1	あり	160	140	100	120	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ1	104	8.1	126	1.23	1.62	
比較例2	なし	120	140	135	120	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ1	110	8.1	126	1.23	1.62	
比較例3	なし	120	100	100	110	120	SUS420J2	10.0	204	BCTZ1	110	8.1	126	1.23	1.62	
比較例4	なし	160	140	170	120	120	SUS420J2	10.0	204	PZT	300	4.0	85	2.50	2.40	
比較例5	なし	160	160	160	120	120	SUS420J2	10.0	204	PZT	300	4.0	85	2.50	2.40	

【 0 1 1 8 】

(圧電振動子の評価)

続いて、得られた圧電振動子の消費電力の周波数依存性を評価した。具体的には、2つの駆動相電極31(説明の便宜上、以降A相とB相と呼ぶ)それぞれに10.0Vppの交番電圧を、周波数掃引しながら印加した。そのときA相とB相の電圧の位相差は-90°と90°とした。以降、-90°のときを正進方向、90°のときを逆進方向と呼ぶ。

10

20

30

40

50

このときの正進方向および逆進方向の消費電力をオシロスコープ（横河メータ&インスツルメンツ社製、商品名：DL850E）を用いて評価した。

【0119】

表2はこれらの結果を以下の観点(1)、(2)、(3)及び(4)において、作製した各圧電振動子10個のうち、いくつがこの条件を満たしているかを示したものである。

(観点)

(1) Aモードの正進方向の最大消費電力に対するAモードの逆進方向の最大消費電力に対する割合が60%以上140%以下の範囲にあること

(2) Aモードの正進方向の共振周波数とAモードの逆進方向の共振周波数との差が±50Hz以内の範囲にあること

(3) Bモードの正進方向の最大消費電力に対するBモードの逆進方向の最大消費電力に対する割合が60%以上140%以下の範囲にあること

(4) Bモードの正進方向の共振周波数とBモードの逆進方向の共振周波数との差が±50Hz以内の範囲にあること

【表2】

表2

		Aモード		Bモード		良品率
		(1) 消費電力	(2) 共振周波数	(3) 消費電力	(4) 共振周波数	
実施例1	圧電振動子A	100%	100%	100%	100%	100%
実施例2	圧電振動子B	90%	100%	100%	100%	90%
実施例3	圧電振動子C	100%	100%	90%	100%	90%
実施例4	圧電振動子D	80%	90%	90%	90%	80%
実施例5	圧電振動子E	100%	100%	100%	100%	100%
実施例6	圧電振動子F	100%	100%	100%	100%	100%
実施例7	圧電振動子G	90%	100%	90%	100%	90%
実施例8	圧電振動子H	90%	100%	80%	100%	80%
実施例9	圧電振動子I	90%	90%	90%	90%	80%
比較例1	圧電振動子J	30%	50%	40%	50%	40%
比較例2	圧電振動子K	50%	70%	60%	70%	50%
比較例3	圧電振動子L	60%	70%	50%	60%	50%
比較例4	圧電振動子M	60%	70%	60%	70%	60%
比較例5	圧電振動子N	60%	80%	60%	80%	60%

【0120】

まず、圧電振動子A、EおよびFの良品率は100%であった。次に、圧電振動子B、CおよびGの良品率は90%であった。圧電振動子A、EおよびFの良品率より若干劣った理由としては、T1>T3かつT2>T3の関係は満たしているものの、T1>T2>T3の関係を満たさなかったことに起因すると考えられる。

【0121】

続いて、圧電振動子D、HおよびIの良品率は80%であった。圧電振動子A、EおよびFの良品率より若干劣った理由としては、これらはT1>T3かつT2>T3の関係は満たしているものの、圧電振動子DはTg1>T3の関係を満たさなかったこと、またT1>T2>T3の関係を満たさなかったことに起因し、さらに、圧電振動子HおよびIはTg1>T3の関係を満たさなかったこと、T2 Tdの関係を満たさなかったことに起因すると考えられる。

【0122】

一方、圧電振動子J、K、L、MおよびNの良品率は60%以下であった。これらの圧

10

20

30

40

50

電振動子はいずれも $T_1 > T_3$ かつ $T_2 > T_3$ の関係を満たしていなかった。中でも圧電振動子 J は分極処理が施された圧電セラミックスを用いて作製したために、良品率が 40% と最も低かった。

【0123】

以上より、本発明の製造方法で作製した圧電振動子は全て良品率が 80% 以上であったのに対し、比較例の製造方法で作製した圧電振動子は良品率が 60% 以下という結果となった。

【0124】

(振動波駆動装置の製造方法)

(実施例 10 から実施例 18)

実施例 1 から 9 で作製した圧電振動子 A から圧電振動子 I の振動板 6 を被駆動体 (スライダ) 8 に接するように設け、図 7 および図 8 のような振動波駆動装置を作製した (実施例 10 から 18)。作製した振動波駆動装置の A 相と B 相には、振幅 100 V_{pp} 交番電圧を周波数掃引しながら印加した。そのとき A 相と B 相の電圧の位相差は -90° と 90° とした。このときの圧電振動子 1011 の最高速度とそのときの周波数をセンサ 18 で測定した。

10

【0125】

比較例 1 から 5 で作製した圧電振動子 J から圧電振動子 N を用いて、実施例 10 から実施例 18 と同様の工程で図 7 および図 8 のような振動波駆動装置を作製し、評価した。

【0126】

(比較例 6 から 10)

表 3 はこれらの結果を以下の観点 (5)、(6) において、作製した各振動波駆動装置 10 個のうち、いくつがこの条件を満たしているかを示したものである。

20

(観点)

(5) 正進方向の最高速度に対する逆進方向の最高速度の割合が 80% 以上 120% 以下の範囲にあること

(6) 正進方向の最高速度到達時の周波数と逆進方向の最高速度到達時の周波数との差の ± 1 kHz 以内の範囲にあること

【0127】

【表 3】

表3

		(5) 最高速度	(6) 周波数	良品率
実施例10	圧電振動子A	100%	100%	100%
実施例11	圧電振動子B	90%	100%	90%
実施例12	圧電振動子C	90%	100%	90%
実施例13	圧電振動子D	80%	90%	80%
実施例14	圧電振動子E	100%	100%	100%
実施例15	圧電振動子F	100%	100%	100%
実施例16	圧電振動子G	90%	100%	90%
実施例17	圧電振動子H	80%	100%	80%
実施例18	圧電振動子I	90%	90%	80%
比較例6	圧電振動子J	30%	50%	40%
比較例7	圧電振動子K	50%	70%	50%
比較例8	圧電振動子L	50%	60%	50%
比較例9	圧電振動子M	60%	70%	60%
比較例10	圧電振動子N	60%	80%	60%

10

20

まず実施例10、14および15で作製した振動波駆動装置の良品率は100%であった。

【0128】

次に実施例11、12、および16で作製した振動波駆動装置の良品率は90%であった。実施例10、14および15の良品率より若干劣った理由としては、 $T1 > T3$ かつ $T2 > T3$ の関係は満たしているものの、 $T1 > T2 > T3$ の関係を満たさなかったことに起因すると考えられる。

【0129】

続いて、実施例13、17および18で作製した振動波駆動装置の良品率は80%であった。実施例10、14および15の良品率より若干劣った理由としては、実施例13、17および18は $T1 > T3$ かつ $T2 > T3$ の関係は満たしているものの、実施例13は $Tg1 > T3$ の関係を満たさなかったこと、また $T1 > T2 > T3$ の関係を満たさなかったことに起因し、実施例17および18は $Tg1 > T3$ の関係を満たさなかったこと、 $T2 > Td$ の関係を満たさなかったことに起因すると考えられる。

30

【0130】

一方、比較例6から10で作製した振動波駆動装置の良品率は60%以下であった。これらの振動波駆動装置はいずれも $T1 > T3$ かつ $T2 > T3$ の関係を満たしていなかった。中でも比較例6は分極処理が施された圧電セラミックスを用いて作製したために、良品率が40%と最も低かった。

40

【0131】

以上より、本発明の製造方法で作製した振動波駆動装置は全て良品率が80%以上であったのに対し、比較例の製造方法で作製した振動波駆動装置は良品率が60%以下という結果となった。

【0132】

(光学機器の製造方法)

(実施例19および比較例11)

実施例10で作製した振動波駆動装置と光学部材とを力学的に接続し、図10のような光学機器を作製した(実施例19)。また、比較例6で作製した振動波駆動装置を光学部

50

材とを力学的に接続し、図 10 のような光学機器を作製した（比較例 11）。どちらの光学機器も交番電圧の印加に応じたオートフォーカス動作を確認できたが、実施例 19 のフォーカス動作は比較例 11 のフォーカス動作に比べて、正進方向と逆進方向のフォーカス時間の差が小さかった。

【産業上の利用可能性】

【0133】

本発明の振動子の製造方法は、正進方向と逆進方向との振動特性が実質的に等価である振動子を歩留まり良く提供できる。また、本発明の振動波駆動装置の製造方法および光学機器の製造方法は、正進方向と逆進方向の駆動特性が実質的に等価である振動波駆動装置および光学機器を歩留まり良く提供できる。さらに、これらの製造方法は、振動波駆動装置と光学機器以外でも、正進方向と逆進方向に駆動する機構を有する圧電デバイス全般に適用可能である。

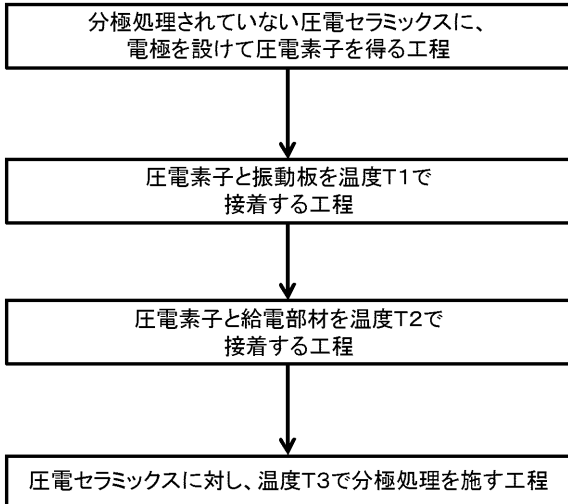
10

【符号の説明】

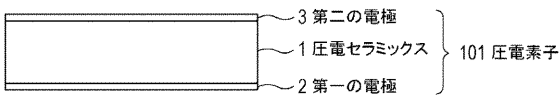
【0134】

1	圧電セラミックス	
101	圧電素子	
1011	圧電振動子	
2	第一の電極	
21	グラウンド電極	
3	第二の電極	20
31	駆動相電極	
4	第一の接着部	
5	第二の接着部	
6	振動板	
61	突起部	
7	給電部材	
7a	電気配線	
8	被駆動体（スライダ）	
9	電圧入力手段	
11	保持部材	30
12	移動筐体	
13	ビス	
14	ガイド部材	
15	レンズ保持部材	
16	レンズ	
17	連結部材	
18	センサ	
19	スケール	
21	グラウンド電極	
31	駆動相電極	40

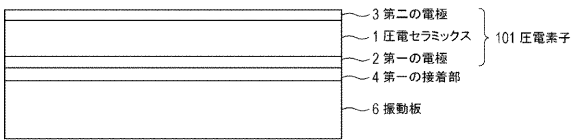
【 図 1 】



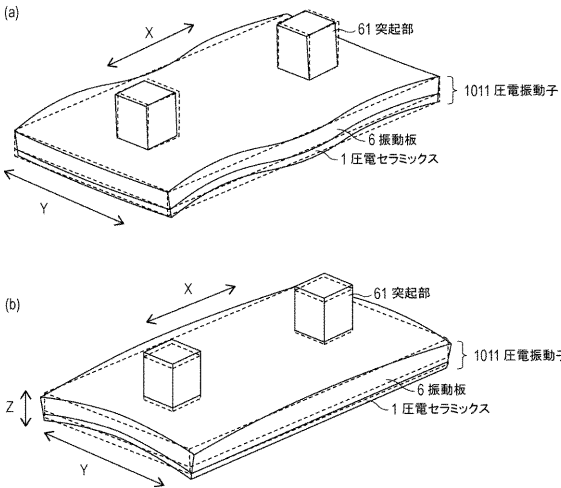
【 図 2 】



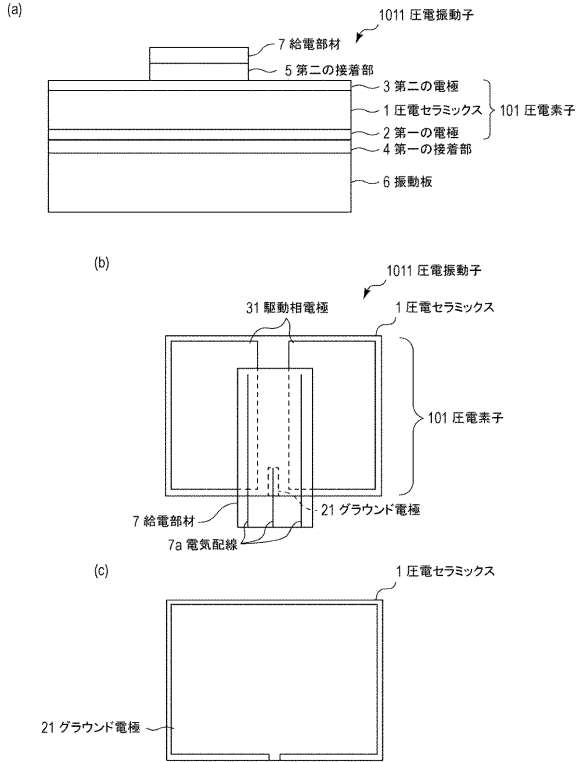
【 図 3 】



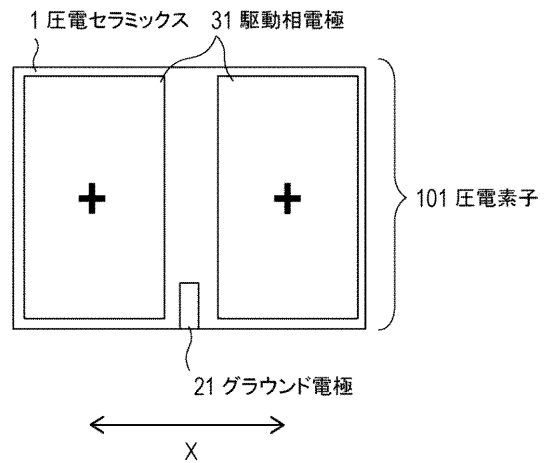
【 図 5 】



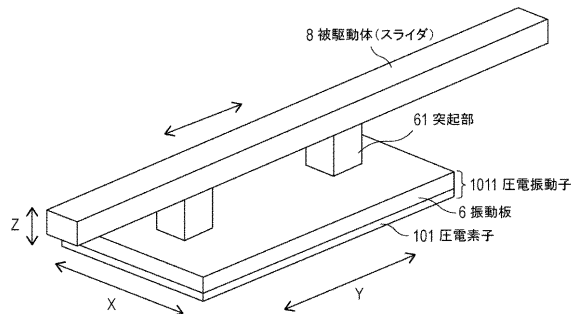
【 図 4 】



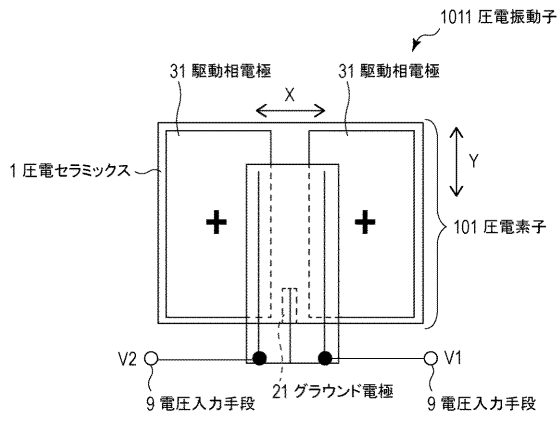
【 図 6 】



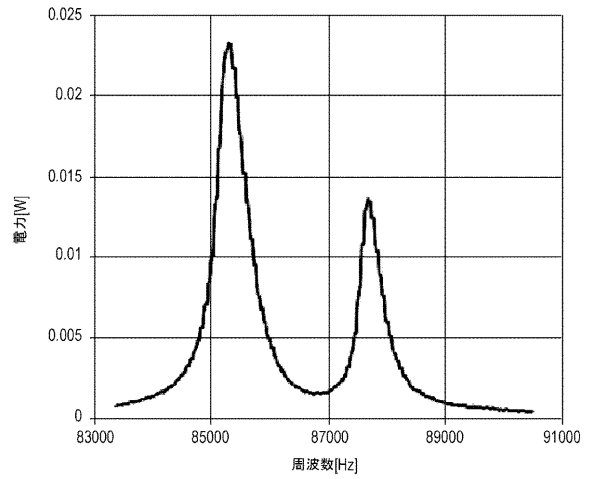
【 図 7 】



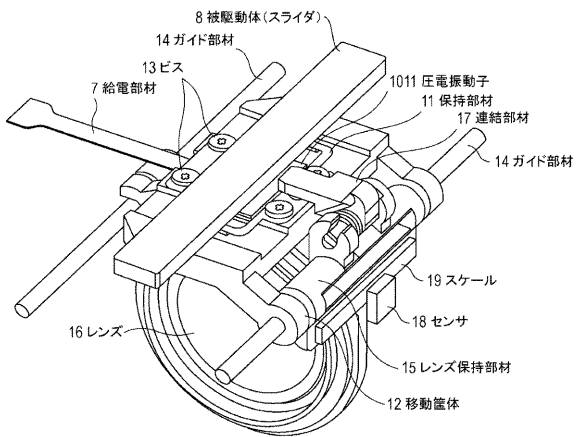
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100134393
弁理士 木村 克彦
- (74)代理人 100174230
弁理士 田中 尚文
- (74)代理人 100114915
弁理士 三村 治彦
- (72)発明者 林 潤平
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 武田 憲一
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 小山 信也
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 渡邊 隆之
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 清水 康志
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 古田 達雄
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 上田 未紀
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 上林 彰
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 田中 秀典
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 久保田 純
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- Fターム(参考) 5H681 BB03 BB13 BC01 DD23 FF08 FF27 GG01 GG11 GG22 GG23
GG27
5J108 AA06 BB05 CC04 EE03